

饲料粗纤维水平与采食时间对生长猪肠道食糜通过速度的影响¹

高庆涛 赵 峰* 张 虎 王 亚 刘保良

(中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193)

摘 要: 本试验旨在研究饲料粗纤维水平和采食时间对生长猪肠道各段食糜通过速度的影响, 为体外模拟消化过程的设置提供生理学依据。试验采用 2×2 完全随机设计, 饲料粗纤维水平分别为 3.39% 和 5.56%, 采食时间分别 08:00 和 16:00。选择体重 (21.90±1.62) kg 的大×长二元杂交去势公猪 24 头, 随机分成 4 组, 每组 6 个重复, 每个重复 1 头猪, 随机选择其中 2 组在十二指肠安装 T 型套管, 另 2 组在回肠末端安装 T 型套管。测定饲料中三氧化二铁在十二指肠、回肠末端及全消化道的出现与消失时间。结果表明: 1) 以食糜中指示剂颜色出现作为通过速度计时, 饲料粗纤维水平对食糜在十二指肠、回肠末端及全消化道的通过速度均有显著影响 ($P<0.05$), 采食时间对食糜在十二指肠、回肠末端通过速度均有显著影响 ($P<0.05$), 但对食糜在全消化道的通过速度无显著影响 ($P>0.05$), 两者对食糜在十二指肠的通过速度有显著交互作用 ($P<0.05$)。与 3.39% 饲料粗纤维水平相比, 5.56% 饲料粗纤维水平使食糜的通过速度显著加快 ($P<0.05$), 08:00 采食的食糜通过速度 (除全消化道外) 显著快于 16:00 采食的食糜通过速度 ($P<0.05$)。2) 以食糜中指示剂颜色消失或以指示剂颜色出现与消失的平均时间作为通过速度计时, 饲料粗纤维水平和采食时间对食糜在十二指肠、回肠末端及全消化道通过速度有显著的影响 ($P<0.05$), 但两者间对食糜在十二指肠、回肠末端通过速度无显著的交互效应 ($P>0.05$), 对全消化道通过速度有显著的交互效应 ($P<0.05$)。与 3.39% 饲料粗纤维水平相比, 5.56% 饲料粗纤维水平使食糜的通过速度显著加快 ($P<0.05$), 08:00 采食的食糜通过速度显著快于 16:00 采食的食糜通过速度 ($P<0.05$)。由此可见, 5.56% 饲料粗纤维水平能够提高食糜在

¹收稿日期: 2018-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31172215); 中国农业科学院科研英才培育工程; 广东温氏食品集团股份有限公司合作项目 (2018-YF-01)

作者简介: 高庆涛 (1992-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 从事饲料养分生物学效价评定的研究。

E-mail: qingtao_gao@163.com

*通信作者: 赵 峰, 副研究员, 硕士生导师, E-mail: zsummit@hotmail.com

20 猪消化道各段的通过速度；08:00 采食食糜通过速度高于 16:00 采食食糜通过速度。

21 关键词：粗纤维水平；采食时间；食糜通过速度；生长猪

22 中图分类号：S828

文献标识码：

文章编号：

23 食糜在动物胃肠道内的通过速度会影响消化液及微生物对其的消化作用时间，从而可能会影响
24 消化程度。因此，研究影响食糜通过速度的因素非常重要。通常情况下，食糜在消化道的停留时间
25 越长，养分的消化率越高。Kim 等^[1]的研究结果表明，饲料的干物质消化率随食糜在猪消化道停留
26 时间的增加而升高。Hughes 等^[2]发现肉鸡饲料随食糜在消化道的停留时间延长，表观代谢能值呈线
27 性增加。动物体内消化过程中，食糜通过速度受多种因素的影响，其中纤维水平是主要影响因素之
28 一^[3-4]。Le Goff 等^[4]的试验结果表明，高纤维饲料在猪消化道内具有更快通过速度的趋势。Keys 等^[5]
29 得出饲料原料的纤维含量不同，其在生长猪十二指肠、空肠、回肠的通过速度呈现差异。此外，猪
30 的消化生理活动具有明显的昼夜节律变化，如猪胃肠道的蠕动及胰液的分泌在夜间与白天存在较大
31 差异^[6]。因此，试验猪在早上采食与下午采食的食糜在消化道的停留时间可能不一样，从而影响通
32 过速度。然而，鲜见这方面的报道。为此，本试验以 2 种粗纤维水平饲料在 2 个采食时间作为计时
33 起点，测定食糜在生长猪十二指肠、回肠末端及全消化道的通过速度，为猪饲料仿生化方法建立
34 中胃、小肠、大肠消化时间的设置提供生理学依据。

35 1 材料与方法

36 1.1 试验动物及饲料

37 选择体重 (21.90 ± 1.62) kg 的大×长二元杂交去势公猪 24 头，随机分成 4 组，每组 6 头，单笼
38 饲养于代谢笼中。适应 1 周后，随机选择其中 2 组试验猪在十二指肠离幽门约 50 cm 的肠段上安装
39 T 型瘘管（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所动物营养学国家重点实验室生产，专利号：
40 ZL201520207381.0），剩余 2 组试验猪在回肠末端离回盲瓣 10~15 cm 的肠段上安装 T 型瘘管。猪
41 术后待意识清醒并可自由行走后转入代谢笼中饲养，护理 2 周，再适应 1 周后开始试验。代谢室卫
42 生管理按动物营养学国家重点实验室常规程序进行。

根据 NRC（2012）生长猪营养需要量配制玉米-豆粕型饲粮（饲粮 1）。为了消除因提高饲粮粗纤维水平导致原料结构变化大的影响，在饲粮 1 的基础上添加 15% 的小麦麸，配制高粗纤维水平饲粮（饲粮 2）。试验饲粮组成及营养水平见表 1。试验包括预试期 5 d，正试期 13 d，共 18 d。日采食量按照体重的 4% 分餐在 08:00 和 16:00 拌湿饲喂，自由饮水。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)		%	
项目 Items	饲粮 1 Diet 1	饲粮 2 Diet 2	
原料 Ingredients			
玉米 Corn	71.960	61.170	
豆粕 Soybean meal	22.200	18.870	
小麦麸 Wheat bran		15.000	
豆油 Soybean oil	1.180	1.000	
石粉 Limestone	0.750	0.640	
磷酸氢钙 CaHPO_4	1.340	1.140	
食盐 NaCl	0.370	0.310	
L-赖氨酸 L-Lys	0.608	0.517	
氯化胆碱 Choline chloride	0.096	0.082	
色氨酸 Trp	0.032	0.027	
苏氨酸 Thr	0.235	0.200	
蛋氨酸 Met	0.226	0.192	
预混料 Premix ¹⁾	1.000	0.850	
合计 Total	100.000	100.000	
营养水平 Nutrient levels ²⁾			
干物质 DM	90.37	90.48	
总能 GE/(MJ/kg)	16.65	17.04	
酶水解物能值 EHGE/(MJ/kg)	14.71	13.84	
粗蛋白质 CP	16.94	16.69	
粗脂肪 EE	4.85	4.34	
粗纤维 CF	3.39	5.56	
钙 Ca	0.66	0.56	
总磷 TP	0.56	0.48	
可消化赖氨酸 DLys	1.01	0.85	
可消化蛋氨酸 DMet	0.28	0.24	

¹⁾预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets: VA 8 250 IU, VD₃ 825 IU, VE 40 IU, VK₃ 4 mg, VB₁ 1.0 mg, VB₂ 5 mg, VB₆ 2 mg, VB₁₂ 25 µg, 泛酸 pantothenic acid 15.0 mg, 烟酸 nicotinic acid 35.0 mg, 叶酸 folic acid 2 mg, 生物素 biotin 4 mg, 氯化胆碱 choline chloride 600 mg, Cu (as copper sulfate) 50.0 mg, Fe (as ferrous sulfate) 80.0 mg, Zn (as zinc sulfate) 100.0 mg,

Mn (as manganese sulfate) 25.0 mg, Se (as sodium selenite) 0.15 mg, I (as potassium iodide) 0.5 mg。

²钙、总磷、可消化赖氨酸、可消化蛋氨酸为计算值，其余为测定值。Ca, TP, DLys, DMet were calculated values, and the others were measured values.

1.2 试验设计

试验采用 2×2 完全随机设计，饲料粗纤维设 2 个水平，即 3.39%和 5.56%，采食时间设 2 个水平，即 08:00 和 16:00，并作为测定计时起点。在试验期的第 1~10 天，其中 2 组十二指肠瘘管猪以 08:00 为 0 时刻点，分别饲喂 3.39%和 5.56%粗纤维水平饲料，考察食糜经过十二指肠和全消化道的通过速度；另外 2 组回肠瘘管猪以 16:00 为 0 时刻点，分别饲喂 3.39%和 5.56%粗纤维水平饲料，考察食糜经过回肠和全消化道的通过速度。在试验期的第 11~13 天，其中 2 组十二指肠瘘管猪以 16:00 为 0 时刻点，分别饲喂 3.39%和 5.56%粗纤维水平饲料，考察食糜经过十二指肠的通过速度；另外 2 组回肠瘘管猪以 08:00 为 0 时刻点，分别饲喂 3.39%和 5.56%粗纤维水平饲料，考察食糜经过回肠的通过速度。在测定计时起始时刻，该餐饲料中添加 0.03%三氧化二铁作为颜色指示剂，此后饲喂不含三氧化二铁的饲料。待粪便中指示剂颜色完全消失后，开始下一批次试验，每个组每头猪重复测定 3 个批次。

1.3 食糜通过速度的测定方法

考虑到颜色易辨识程度，选用三氧化二铁作为指示剂，以 0.3 g/kg 的添加量与饲料混匀^[2]。食糜通过速度的测定参考 Imbeah 等^[7]的方法，在试验期开始，单餐饲喂含有指示剂的饲料，此后饲喂试验饲料。通过速度的表示参考 Kim 等^[1]的方法，通过肉眼观察在食糜或粪便中指示剂颜色第 1 次出现和消失的时间，以其平均值表示平均通过速度。

十二指肠食糜通过速度的测定：饲喂含有指示剂的饲料 20 min 后，收取少量食糜观察指示剂颜色是否出现，若未出现，则每隔 5 min 检查 1 次。颜色出现 4 h 后，每隔 1 h 取 1 次食糜，直到食糜中指示剂颜色消失。回肠食糜通过速度的测定：饲喂含有指示剂的饲料 2 h 后，收取少量食糜观察指示剂颜色是否出现，颜色出现 6 h 后，每隔 1 h 取 1 次食糜，直到食糜中指示剂颜色消失。全消化道食糜通过速度的测定：饲喂含有指示剂的饲料 12 h 后，每隔 3 h 检查 1 次粪便，记录粪便中指

示剂颜色出现和消失的时间。

1.4 数据处理与统计分析

采用 SAS 9.0 统计软件的 MEANS 模块对十二指肠、回肠末端及全消化道的食糜通过速度进行基本统计量分析。采用 GLM 模块对不同饲粮粗纤维水平及采食时间下的消化道各段的食糜通过速度进行两因素方差分析，Duncan 氏法进行多重比较， $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲粮粗纤维水平与采食时间对食糜在生长猪十二指肠通过速度的影响

由表 2 可知，以食糜中指示剂颜色出现作为食糜通过速度计时，饲粮的粗纤维水平和采食时间对食糜通过速度有显著的影响 ($P<0.05$)，且两者间存在显著的交互效应 ($P<0.05$)。与 3.39% 饲粮粗纤维水平相比，5.56% 饲粮粗纤维水平使食糜的通过速度显著加快 ($P<0.05$)；08:00 采食的食糜通过速度显著快于 16:00 采食的食糜通过速度 ($P<0.05$)。采食 3.39% 粗纤维水平饲粮，采食时间对食糜通过速度的影响较大 (相差 0.13 h)，而采食 5.56% 粗纤维水平饲粮，采食时间对食糜通过速度的影响较小 (相差 0.07 h)。

以食糜中指示剂颜色消失或以指示剂颜色出现与消失的平均时间作为食糜通过速度计时，饲粮粗纤维水平和采食时间对通过速度有显著的影响 ($P<0.05$)，但两者间无显著的交互效应 ($P>0.05$)。与 3.39% 饲粮粗纤维水平相比，5.56% 饲粮粗纤维水平使食糜的通过速度显著加快 ($P<0.05$)；08:00 采食的食糜通过速度显著快于 16:00 采食的食糜通过速度 ($P<0.05$)。

表 2 食糜通过生长猪十二指肠的速度

Table 2 Passage rate of digesta across the duodenum of growing pigs

项目 Items		食糜中三氧化铁显示时间		
		Appearance time of ferric oxide in digesta/h		
		颜色出现	颜色消失	平均时间
		Color appearance	Color disappearance	Mean time
粗纤维水平	采食时间			
CF level/%	Feeding time			
3.39	08:00	0.36±0.04	7.04± 0.30	3.70±0.15
	16:00	0.49±0.08	7.92±0.32	4.21±0.15

5.56	08:00	0.32±0.02	5.31±0.40	2.82±0.20
	16:00	0.39±0.04	6.43±0.34	3.41±0.16
平均值 Mean				
粗纤维水平 CF level/%				
3.39		0.43 ^a	7.48 ^a	3.96 ^a
5.56		0.35 ^b	5.87 ^b	3.11 ^b
采食时间 Feeding time				
08:00		0.33 ^b	6.17 ^b	3.26 ^b
16:00		0.44 ^a	7.17 ^a	3.81 ^a
P 值 P-value				
粗纤维水平 CF level		<0.001	<0.001	<0.001
采食时间 Feeding time		<0.001	<0.001	<0.001
粗纤维水平×采食时间				
CF level×feeding time		0.013	0.156	0.290

相同项目同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。下表同。

In the same item and column, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 饲粮粗纤维水平与采食时间对食糜在生长猪回肠末端通过速度的影响

由表 3 可知, 以食糜中指示剂颜色出现、消失或出现与消失的平均时间作为通过速度计时, 饲粮粗纤维水平和采食时间对食糜通过速度均有显著的影响 ($P<0.05$), 但两者间无显著的交互效应 ($P>0.05$)。与 3.39%饲粮粗纤维水平相比, 5.56%饲粮粗纤维水平使食糜的通过速度显著加快 ($P<0.05$); 08:00 采食的食糜通过速度显著快于 16:00 采食的食糜通过速度 ($P<0.05$)。

表 3 食糜通过生长猪回肠末端的速度

Table 3 Passage rate of digesta across the terminal ileum of growing pigs

项目 Items		食糜中三氧化铁显示时间		
		Appearance time of ferric oxide in digesta/h		
		颜色出现	颜色消失	平均时间
		Color appearance	Color disappearance	Mean time
粗纤维水平	采食时间			
CF level/%	Feeding time			
3.39	08:00	2.94±0.17	12.96±0.26	7.95±0.15

chinaXiv:201812.00690v1

	16:00	3.14±0.40	19.83±0.23	11.00±0.24
5.56	08:00	2.11±0.18	12.21±0.22	7.16±0.13
	16:00	2.41±0.37	19.11±0.39	10.37±0.35
平均值 Mean				
粗纤维水平 CF level/%				
3.39		3.04 ^a	16.30 ^a	9.42 ^a
5.56		2.25 ^b	15.56 ^b	8.72 ^b
采食时间 Feeding time				
08:00		2.52 ^b	12.59 ^b	7.56 ^b
16:00		2.77 ^a	19.47 ^a	10.69 ^a
P 值 P-value				
粗纤维水平 CF level		<0.001	<0.001	<0.001
采食时间 Feeding time		<0.001	<0.001	<0.001
粗纤维水平×采食时间		0.502	0.771	0.141
CF level×feeding time				

2.3 饲料粗纤维水平与采食时间对食糜在生长猪全消化道通过速度的影响

由表 4 可知，以粪便中指示剂颜色出现作为通过速度计时，饲料粗纤维水平对食糜通过速度有显著的影响 ($P<0.05$)，5.56%饲料粗纤维水平使食糜的通过速度显著加快 ($P<0.05$)，但采食时间对通过速度无显著的影响 ($P>0.05$)，且两者间无显著的交互效应 ($P>0.05$)。

以粪便中指示剂颜色消失或以指示剂颜色出现与消失的平均时间作为通过速度计时，饲料粗纤维水平和采食时间对通过速度均有显著的影响 ($P<0.05$)，且两者间存在显著的交互效应 ($P<0.05$)。

与 3.39%饲料粗纤维水平相比，5.56%饲料粗纤维水平使食糜的通过速度显著加快 ($P<0.05$)；08:00 采食的食糜通过速度显著快于 16:00 采食的食糜通过速度 ($P<0.05$)。采食 3.39%粗纤维水平饲料，采食时间对食糜通过速度的影响更大；采食 5.56%粗纤维水平饲料，采食时间对食糜通过速度的影响变小。

表 4 食糜通过生长猪全消化道的速度

Table 4 Passage rate of digesta across the total digestive tract of growing pigs

项目 Items		食糜中三氧化铁显示时间		
		Appearance time of ferric oxide in digesta/h		
		颜色出现	颜色消失	平均时间
		Color appearance	Color disappearance	Mean
粗纤维水平	采食时间			
CF level/%	Feeding time			

3.39	08:00	25.69±0.79	56.10±0.72	41.04±0.96
	16:00	25.67±1.17	64.47±0.51	44.81±0.63
5.56	08:00	24.81±1.25	48.18±0.44	36.50±0.72
	16:00	24.55±1.29	52.76±0.81	38.66±0.82
平均值 Mean				
粗纤维水平 CF level/%				
3.39		25.67 ^a	60.17 ^a	42.86 ^a
5.56		24.68 ^b	50.41 ^b	37.55 ^b
采食时间 Feeding time				
08:00		25.25	52.14 ^b	38.77 ^b
16:00		25.10	58.62 ^a	41.73 ^a
P 值 P-value				
粗纤维水平 CF level		0.001	<0.001	<0.001
采食时间 Feeding time		0.608	<0.001	<0.001
粗纤维水平×采食时间		0.654	<0.001	0.011
CF level×feeding time				

3 讨 论

3.1 动物消化道食糜通过速度的表达

人们通常使用指示剂颜色观察法或外源指示剂累积排泄量对时间曲线法估测食糜通过动物全消化道的速度^[8-12]。因为指示剂颜色观察法的分析工作量少、简单、直观，所以在猪禽食糜排空速度的测定中通常被采用。美国采用指示剂颜色法作为猪消化试验中试验饲料通过全消化道开始收集粪便的依据^[13]。在食糜通过速度的表达上，指示剂颜色出现表明饲喂含指示剂的饲料开始经过监测的肠道位点，而指示剂颜色消失则表明饲喂含指示剂的饲料全部通过了监测位点。因此，指示剂颜色出现与消失的时间差是该餐食糜通过监测位点所需要的时间。根据上述原理，以指示剂颜色的出现时间或消失时间来表达食糜的通过速度，在结果上会相差很大。Kim 等^[1]以颜色指示剂测定生长猪粪便中出现颜色和颜色消失的时间分别 27 和 102 h。Stanogias 等^[14]的研究结果也得到了类似的差异（粪便中出现颜色和颜色消失的时间分别 22 和 85 h）。在本试验 2 种粗纤维水平饲料条件下，十二指肠食糜、回肠末端食糜以及粪便中，指示剂颜色的出现时间与消失时间也相差很大。这一现象与前述文献的研究结果类似。根据指示剂颜色出现或消失的生物学含义，本试验中 16:00 饲喂 3.39% 粗纤维水平饲料会进一步延后食糜到达十二指肠的时间，增加食糜全部通过全消化道的的时间以及平

均时间，而对食糜通过回肠末端的时间无互作效应。这表明 16:00 饲喂 3.39%粗纤维水平饲粮会进一步降低食糜在盲结肠的通过速度。由此也表明，饲粮粗纤维水平与采食时间对食糜在生长猪盲结肠通过速度的影响有叠加效应。这可能是食糜在盲结肠的停留时间最长 (>30 h)，3.39%粗纤维水平饲粮和 16:00 采食时间均增加了停留时间，从而两者对停留时间影响的叠加效应在盲结肠显现。

3.2 食糜在猪消化道内的通过速度及影响因素

食糜的通过速度会影响饲粮的消化程度。Adeola 等^[15]用半纯合饲粮或玉米-豆粕饲粮为基础饲粮测定鸡对玉米干酒糟的代谢能值，由于基础饲粮在体内的通过速度不同，从而导致了玉米干酒糟代谢能值的差异，也表明了饲粮的化学成分会影响到食糜的通过速度。Le Goff 等^[4]以不同的纤维原料添加到基础饲粮中，加快了食糜在猪消化道的通过速度。Mateos 等^[8]研究表明，随饲粮中脂肪含量的增加，鸡消化道中食糜的通过速度降低。本研究中，当饲粮中添加了 15%的小麦麸后，生长猪消化道各段的食糜通过速度均显著加快。这可能是由于不可消化纤维促进了肠道的推进性蠕动，从而加快了通过速度。此外，每天分餐定点饲喂的动物，肠道内食糜的流速存在昼夜变化规律，采食后流速先升后降然后趋于平稳，总体上是白天的食糜流速高于夜间^[6]。即使在自由采食条件下，夜间在没有照明时猪禽很少出现采食行为^[16-17]，同样存在白天的食糜流速高于夜间的现象。这是由于夜间猪禽胃肠道的蠕动程度低于白天，尤其夜间休息时，消化器官的活动量显著减少，食糜通过速度变慢。本研究中，试验猪在 08:00 采食时食糜的通过速度显著快于 16:00 采食的通过速度。这是由于猪在 08:00 采食后，距下一次采食仅间隔 8 h，而 16:00 采食后距下次采食间隔 16 h。猪采食饲粮后新的食糜会促进含有指示剂食糜的向后推进，因而导致采食时间对食糜颜色显示的差异。上述生理现象也表明，在测定食糜在动物消化道的通过速度时，通过速度与饲喂时间存在从属关系。

4 结 论

饲粮粗纤维水平和采食时间对食糜在生长猪十二指肠、回肠末端及全消化道的通过速度均有影响。与 3.39%饲粮粗纤维水平相比，5.56%饲粮粗纤维水平使食糜的通过速度加快；猪在 08:00 采食的食糜通过速度显著快于 16:00 采食的食糜通过速度。

参考文献:

- [1] KIM B G,LINDEMANN M D,CROMWELL G L,et al.The correlation between passage rate of digesta and dry matter digestibility in various stages of swine[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):81–84.
- [2] HUGHES R J.The rate of passage of digesta influences energy metabolism in broiler chickens[C]//Proceedings of the 16th Australian Poultry Science Symposium.Sydney : [s.n.],2004:52-54.
- [3] CHERBUT C,BARRY J L,WYERS M,et al.Effect of the nature of dietary fibre on transit time and faecal excretion in the growing pig[J].Animal Feed Science and Technology,1988,20(4):327–333.
- [4] LE GOFF G,VAN MILGEN J,NOBLET J.Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs,finishing pigs and adult sows[J].Animal Science,2002,74(3):503–515.
- [5] KEYS J E,Jr.,DEBARTHE J V.Site and extent of carbohydrate,dry matter,energy and protein digestion and the rate of passage of grain diets in swine[J].Journal of Animal Science,1974,39(1):57–62.
- [6] 刘成玲,赵峰,左建军,等.生长猪回肠末端瘻管中食糜养分流量及指示剂回收率的变异[J].动物营养学报,2014,26(11):3404–3413.
- [7] IMBEAH M,SAUER W C,CAINE W R.Comparison of the single dose and withdrawal method for measuring the rate of passage of two digestibility markers in digesta collected from the distal ileum and feces in growing pigs[J].Animal Feed Science and Technology,1995,52(1/2):41–50.
- [8] MATEOS G G,SELL J L,EASTWOOD J A.Rate of food passage (transit time) as influenced by level of supplemental fat[J].Poultry Science,1982,61(1):94–100.
- [9] GOLIAN A,MAURICE D V.Dietary poultry fat and gastrointestinal transit time of feed and fat utilization in broiler chickens[J].Poultry Science,1992,71(8):1357–1363.

- [10] SIBBALD I R. Passage of feed through the adult rooster[J]. Poultry Science, 1979, 58(2): 446–459.
- [11] FERRANDO C, VERGARA P, JIMÉNEZ M, et al. Study of the rate of passage of food with chromium-mordanted plant cells in chickens (*Gallus gallus*)[J]. Quarterly Journal of Experimental Physiology, 1987, 72(3): 251–259.
- [12] COOMBE J B, KAY R N B. Passage of digesta through the intestines of the sheep: retention times in the small and large intestines[J]. British Journal of Nutrition, 1965, 19(3): 325–338.
- [13] ADEOLA O. Digestion and balance techniques in pigs[C]//LEWIS A J, SOUTHERN L L. Swine Nutrition. Washington, DC: CRC Press, 2001: 903–916.
- [14] STANOGLAS G, PEARCE G R. The digestion of fibre by pigs. 1. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage[J]. British Journal of Nutrition, 1985, 53(3): 513–530.
- [15] ADEOLA O, ILELEJI K E. Comparison of two diet types in the determination of metabolizable energy content of corn distillers dried grains with solubles for broiler chickens by the regression method[J]. Poultry Science, 2009, 88(3): 579–585.
- [16] MATTER F, OESTER H. The effect of different lighting programs on the condition and behavior of fattening chickens[J]. Schweizer Archiv Für Tierheilkunde, 1995, 137(4): 141–148.
- [17] HYUN Y, ELLIS M. Effect of group size and feeder type on growth performance and feeding patterns in growing pigs[J]. Journal of Animal Science, 2001, 79(4): 803–810.

Effects of Dietary Crude Fiber Level and Feeding Time on Passage Rate of Digesta in Intestinal Tract of Growing Pigs

GAO Qingtao ZHAO Feng* ZHANG Hu WANG Ya LIU Baoliang

(State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of dietary crude fiber level and feeding time on the passage rate of digesta in the intestinal tract of growing pigs to provide a physiological data for the design of *in vitro* digestion. The dietary crude fiber levels of 3.39% and 5.56% and feeding time at 08:00 and 16:00 were used in a 2×2 factorial completely randomized arrangement. Twenty-four pigs [Duroc \times Large, (21.90 \pm 1.62) kg] were randomly divided into 4 groups of 6 replicates with 1 pig in each. Pigs were fixed T-cannulas at the anterior duodenum in 2 groups and at the terminal ileum in the remaining 2 groups. The time of appearance and disappearance of ferric oxide were observed on the duodenum, terminal ileum and the total digestive tract. The results showed as follows: 1) when the time of indicator color appearance as the passage rate of digesta, the dietary crude fiber level had significant effects on the passage rate of digesta in the duodenum, terminal ileum and total digestive tract ($P<0.05$), and feeding time had significant effects on the passage rate of digesta in the duodenum and terminal ileum ($P<0.05$), but had no significant effects in the total digestive tract ($P>0.05$). Significant interaction between them on the passage rate of digesta in the duodenum digesta was observed ($P<0.05$). Compared with dietary 3.39% crude fiber level, dietary 5.56% crude fiber level significantly fasten the passage rate of digesta ($P<0.05$); the passage rate of digesta fed at 08:00 (excepted for the total digestive tract) was significantly faster than that fed at 16:00 ($P<0.05$). 2) When the time of indicator color disappearance or mean time of appearance and disappearance as the passage rate of digesta, the dietary crude fiber level and feeding time had significant effects on the passage rate of digesta in the duodenum, terminal ileum and total digestive tract

($P<0.05$), there was no significant interaction between them on the passage rate of digesta in the duodenum and terminal ileum ($P>0.05$), but there was significant interaction on the passage rate of digesta in the total digestive tract ($P<0.05$). Compared with dietary 3.39% crude fiber level, dietary 5.56% crude fiber level significantly fasten the passage rate of digesta ($P<0.05$); the passage rate of digesta fed at 08:00 was significantly faster than that fed at 16:00 ($P<0.05$). These results indicate that 5.56% crude fiber level can increase the passage rate of digesta in the intestinal tract of growing pigs. The passage rate of digesta in pigs fed at 08:00 is faster than that fed at 16:00.

Key words: crude fiber level; feeding time; passage rate of digesta; growing pigs

*Corresponding author, associate professor, E-mail: zsummit@hotmail.com (责任编辑 陈 鑫)